

学位論文の要旨

Abstract of Thesis

研究科 School	自然科学研究科
専攻 Division	産業創成工学専攻
学生番号 Student No.	51430708
氏名 Name	藤本 望夢

学位論文題目 Title of Thesis (学位論文題目が英語の場合は和訳を付記)

ナノ粒子生成を目的としたマイクロ流体デバイスを用いた液滴生成・急冷フローシステムに関する研究

学位論文の要旨 Abstract of Thesis

微小粒径を持つナノ粒子は、バルク材料とは異なる光学的物性や比表面積が大きいなどの特徴から、医薬品や化粧品、電子材料などとして様々な産業分野で需要が増している。しかしながら、従来の主としてバッチプロセスであるナノ粒子生成手法では、システム全体の複雑化・大型化やエネルギー消費量および廃液量が多いといった問題があり、高品質なナノ粒子製造の手法として連続プロセスの実現が重要な課題となっている。

本論文は、連続プロセスで粒径の揃ったナノ粒子生成が可能な小型のシステムの実現を目的として、再結晶現象を利用した微小液滴の急冷によるナノ粒子生成手法を提案し、マイクロ流路内において微小液滴の生成と急冷を行うマイクロ流体デバイスを用いた液滴生成・急冷フローシステムについて行った研究をまとめたものである。以下、七章から構成される。

第一章では序論として、ナノ粒子の特性と応用例を述べた後、従来の生成手法に関するこれまでの研究事例と現状での問題点をまとめ、本論文の目的と構成を記している。

第二章では、マイクロ流体デバイスを用いた液滴生成・急冷フローシステムの構成について述べ、そのシステムを構成するデバイス設計のためのモデルを提案した。本研究での粒子生成手法である再結晶現象を利用した溶液の冷却により溶解度に差を生じる冷却晶析では、溶液の急冷により微小粒子が生成される。均一な粒子を得るためには溶液内部の温度分布の均一な冷却が求められる。提案したシステムは2つのマイクロ流体デバイスから構成され、液滴生成デバイスで連続相中に液滴生成を行い、冷却デバイスにより液滴を急冷した後、生成した粒子の回収を行う。これにより、温度を維持した状態で液滴として吐出した後に急冷が可能となり、均一なナノ粒子生成が実現される。提案したモデルでは、拡散方程式から液滴の温度分布および冷却速度を算出し、個数収支式から粒度分布を算出する。その際、実験系に依存するパラメータの導出が必要となる。

第三章では、液滴を液体窒素により急冷するシステムを用いた粒子生成実験と、第二章で提案したモデルに基づく数値計算から、ナノ粒子生成に対する微小液滴の急冷の有効性について実験と理論の両面から検討を行った。まず、超音波ねじり振動子と微小孔板を用いて生成した液滴を液体窒素により急冷するシステムを試作した。このシステムを用いた実験によりナノ粒子生成に成功し、液滴径と粒子サイズの関係を実験的に導出した。さらに、実験より得られた粒度分布から上記モデルのパラメータを決定した。

第四章では、液滴生成・急冷フローシステムを構成する液滴生成デバイスと急冷デバイスのマイクロ

流体デバイスの設計を行った。液滴生成デバイスは、連続相中に液滴生成が可能なフローフォーカス構造を持つマイクロ流路プレートと、熱伝導率の小さいガラス製のプレートにより構成した。冷却デバイスは金属製のマイクロ流路プレートと冷却素子のペルチェ素子を積層した構造とした。まず、ペルチェ素子の温度を考慮した熱伝導解析を行い、冷却デバイスの冷却能力を算出した。その後、第三章で導出したパラメータを用いた第二章でのモデルにより、ナノ粒子生成が可能な液滴径を算出した。さらに、流量比と液滴径の関係を理論式から求め、必要な液滴径を生成可能なフローフォーカス構造の流路寸法を決定し、数値流体解析により液滴の生成状態を確認した。

第五章では、第四章で設計した液滴生成デバイスと急冷デバイスの試作および評価を行った。液滴生成デバイスでは、流量比と液滴径の関係と、液滴の温度が維持されることを実験的に示した。冷却デバイスにおいては、ペルチェ素子に印加する電力の大きさを変化させることによる急冷時の冷却温度の変更を実現した。

第六章では、第五章において試作したマイクロ流体デバイスを用いて、液滴生成・急冷フロープロセスによるナノ粒子生成実験を行った。生成される粒子の粒径が溶液濃度、液滴生成デバイスによる液滴径、冷却デバイスにおける冷却温度に依存することを示した。さらに、収率の向上を目指して、急冷マイクロ流路の形状の改良を行った。粒子の微小化と収率の改善を目的として粒子が析出する遅れ時間以上の冷却流路内の滞留時間を考慮することにより、平均径 61.0nm、標準偏差 10.4nm の粒度分布を持つ粒子生成に成功した。収率は 20.3%であった。

第七章では、本論文で得られた成果をまとめ、さらに今後の展望について論じている。

以上の通り、本研究では微小液滴の生成と急冷によるナノ粒子生成手法を提案し、粒子生成プロセスのモデルにより、システム構築とデバイス設計に必要な指針を得た。さらに、試作したマイクロ流体デバイスを用いることによって、連続したプロセスでナノ粒子製造が可能であることを示した。